

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Juli 2004 (22.07.2004)

PCT

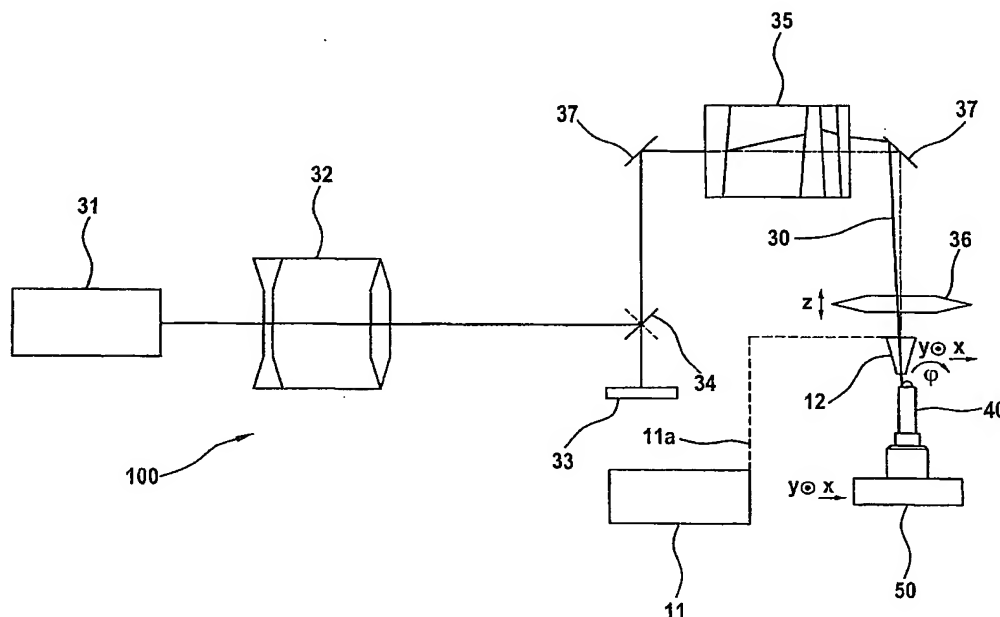
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/060603 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B23K 26/38, 26/14
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003801
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. November 2003 (17.11.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 00 134.4 7. Januar 2003 (07.01.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): CALLIES, Gert [DE/DE]; Danngrabenweg 10, 77815 Buehl (DE). WILLERT, Markus [DE/DE]; Schlehenweg 17, D-89551 Koenigsbronn (DE). OSSWALD, Kai [DE/DE]; Buchenweg 7, D-64832 Babenhausen (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LASER DRILLING IN A PROCESS GAS ATMOSPHERE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERBOHREN UNTER EINER PROZESSGASATMOSPHERE



(57) Abstract: A method and device for laser drilling, wherein the geometric configuration of the drill hole wall is influenced by the interaction between the laser beam (30) and a supplied process gas which is ionized to form plasma. The outlet opening of the drill hole is influenced by a suitable arrangement of a backing.

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zum Laserbohren, wobei die geometrische Ausbildung der Bohrlochwandung durch Wechselwirkung zwischen Laserstrahl (30) und einem zugeführten Prozessgas, welches hierbei zu Plasma ionisiert wird, beeinflusst wird. Desweiteren wird die Austrittsöffnung des Bohrlochs durch eine geeignete Anordnung eines Backings beeinflusst.



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERBOHREN UNTER
EINER PROZESSGASATMOSPHERE

5

Beschreibung

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbohren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine entsprechende Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8.

15

Stand der Technik

In Düsen von Kraftstoffeinspritzsystemen werden herkömmlicherweise Präzisionskleinstlöcher mittels Erodierverfahren eingebracht. Mittels dieser Technik können derzeit in Großserien minimale Durchmesser von etwa 120 µm hergestellt werden. Das Laserbohren ermöglicht darüber hinaus auch die Herstellung von Präzisionslöchern mit Durchmessern kleiner als 120 µm, ist aber als Großserienverfahren bisher noch nicht eingeführt.

Auf dem Gebiet der Kraftstoffeinspritzung werden in zunehmendem Maße konische Löcher dahingehend gefordert, dass eine Kraftstoffaustrittsöffnung einen kleineren Durchmesser besitzt als eine Kraftstoffeintrittsöffnung. Derartige Präzisions-Kleinstlöcher kommen bereits in Systemen für Dieselkraftstoffe (Direkteinspritzung) oder für Benzinkraftstoffe (Saugrohr- und Direkteinspritzung) zur Anwendung.

In der DE 199 055 71 C1 ist ein Laserbohrverfahren dargelegt. Hierbei führt ein Laserstrahl relativ zu einem Werkstück eine Taumelbewegung aus. Dadurch wird erreicht,
5 dass innerhalb des Werkstücks eine Kegelmantelfläche durchlaufen wird. Die Polarisationssebene des Laserstrahls wird dabei synchron zur Taumelbewegung gedreht.

In der DE 100 548 53 A1 ist ein Verfahren zum Einbringen
10 eines Mikrolochs in ein Werkstück mittels Laserstrahls offenbart. Hierbei wird der Fokus des Laserstrahls fortlaufend auf einer zur Lochachse konzentrischen Kreisbahn entlang bewegt, wobei der Laserstrahl aus einer Folge von kurzen Laserpulsen zusammengesetzt ist.

15 Bei allen bisherigen Bohrprozessen muss die erzeugte Bohrung durch hydroerosives (HE) Runden nachbehandelt werden. Dies dient beispielsweise bei Kraftstoffeinspritzsystemen (neben der Verbesserung der
20 Bohrwandoberfläche und der Verringerung der Streuung zwischen den hydraulischen Durchsätzen der einzelnen Bohrlöcher einer Düse) vor allem der Verrundung der Kante des Kraftstoffeinlaufs. Dies führt zu einer deutlichen Verminderung des Strömungswiderstandes an dieser Stelle und
25 vermindert außerdem unerwünschte Kavitationserscheinungen.

Eine weitere deutliche Verbesserung in dieser Richtung wird durch die Kombination von Konizität und ausgeprägter HE-Verrundung erreicht.

30 Mit der Erfindung soll während des Bohrprozesses mit Kurzpuls- (ns) oder Ultrakurzpuls- (ps/fs) Lasern gezielt der Verlauf des Austritts der Bohrung (Kraftstoffeinlauf) beeinflusst werden. Insbesondere soll eine einfache und

unaufwendige Bereitstellung verschiedener symmetrischer und asymmetrischer Austrittsverläufe, beispielsweise mit Ausweitungen und Ausbauchungen realisiert werden.

- 5 Dieses Ziel wird erreicht mit einem Verfahren zum Laserbohren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie einer entsprechenden Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8.

10 Vorteil der Erfindung

Bei dem erfindungsgemäß vorgesehenen Verfahren zum Laserbohren wird ein Bereich eines Bauteils mit einem Laserstrahl beaufschlagt, wobei innerhalb dieses Bereiches
15 ein Loch erzeugt wird. Diese Beaufschlagung bzw. Bohrung wird unter einer einstellbaren Prozessgasatmosphäre durchgeführt. Aufgrund einer Wechselwirkung zwischen dem verwendeten Laserstrahl und dem gewählten Prozessgas innerhalb des von dem Laserstrahl beaufschlagten Bereiches
20 bzw. Loches wird dabei durch Ionisierung des Prozessgases Plasma gebildet. Zusätzlich ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass an einer durch den Laserstrahl erzeugten Austrittsöffnung des Loches ein Backing angeordnet wird.

- 25 Das erfindungsgemäß verwendete Prozessgas bzw. Gasgemisch dient primär der Steigerung der Bearbeitungsqualität sowie einer Optimierung der Bearbeitungszeit, insbesondere einer Verkürzung der Bearbeitungszeit. Hierbei wird durch die Schaffung spezieller Prozessgasatmosphären indirekt Einfluss
30 auf die Laserstrahl-Materie-Wechselwirkung im beaufschlagten Bereich bzw. Loch und somit auf den Bearbeitungsprozess genommen. Die Art der Prozessgasatmosphäre bestimmt die Eigenschaften der sich erfindungsgemäß bildenden Plasmen bei der Wechselwirkung

mit der eingesetzten Laserstrahlung mit dem zu bearbeitenden Material bzw. Werkstoff, wobei die Plasmabildung durch Materialdampf unterstützt wird. Als Laser kommt beispielsweise ein Festkörperlaser (Nd:YAG) zum Einsatz. Verschiedene Prozessgase erzeugen jeweils Plasmen, die sich z. B. in ihrer Temperatur und Expansion unterscheiden können.

Als Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere zu erwähnen, dass für die Herstellung von Verrundungen die Prozesszeit des HE-Rundens deutlich herabgesetzt werden kann, bzw. dass HE-Runden gar nicht mehr erforderlich ist. Außerdem können durch das erfindungsgemäße Verfahren Kraftstoffeintritte in einer Art gestaltet werden, wie dies das HE-Runden nicht erlaubt. Insbesondere können durch das erfindungsgemäße Verfahren asymmetrische Verrundungen eingebracht werden oder symmetrische respektive asymmetrische Ausbauchungen kurz hinter dem Kraftstoffeintritt erzeugt werden. Verrundungen haben den Vorteil eines verbesserten Einstromverhaltens während Ausbauchungen dazu dienen können, Verwirbelungen, die am Kraftstoffeintritt entstehen können, zu verhindern oder auch gezielt zu erzeugen.

Bedeutsam für die gezielte Gestaltung des Austritts ist insbesondere der Plasmazustand kurz vor und während des Wiederaustritts des Laserstrahls aus dem Material. Je nach den gewählten Parametern wie Gaszusammensetzung, Gasdruck und/oder Gasströmungsrichtung können sich Verrundungen, Ausbauchungen und/oder scharfe Austrittskanten ausbilden, wobei dies rotationssymmetrisch gleichmäßig über den gesamten Bohrlochaustritt erfolgen kann, oder die Phänomene nur auf einer Seite auftreten können.

Rückraumschutzmaterialien, sogenannte Backings haben die Aufgabe, eine freie Propagation des Laserstrahls nach seinem Wiederaustritt aus dem Werkstoff bzw. Material zu verhindern. Dies kann herkömmlicherweise dazu dienen, ein
5 anderes Werkstück bzw. Bauteil oder Bereiche desselben Werkstücks vor Beschädigung zu schützen. Außerdem können derartige Backings den Zustand eines geschlossenen Bohrlochs für eine bestimmte Zeit aufrechterhalten und somit dazu beitragen, dass eine Austrittsöffnung bzw. ein
10 Bohrungsaustritt wie gewünscht entstehen kann.

Backings bestehen je nach Anwendungsfall aus verschiedensten Materialien, wie z. B. Polymeren, Metallen oder keramischen Werkstoffen.

15 Ein Backing kann die Ausbildung eines Bohrlochaustrittes beeinflussen, indem es die ankommende Laserstrahlung zurück in Richtung Werkstoff reflektiert oder indem es das aus dem Prozessgas ionisierte Plasma in seiner Ausbreitung
20 beeinflusst und somit zu einem weiteren Materialabtrag führt. Einen weiteren Einfluss kann ein Plasma haben, das gegebenenfalls durch den Abtrag des Backings entsteht.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen
25 Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei dem Verfahren wird als Prozessgas zweckmäßigerweise ein inertes Gas, wie Stickstoff, insbesondere unter Zusatz von
30 Edelgasen wie Helium, Argon und dergleichen verwendet. Der Einsatz eines derartigen Prozessgases hat zum Vorteil, dass ein zu beaufschlagender Bereich inert wird, so dass eine Oxidation dieses Bereiches vermieden wird. Außerdem wird durch eine derartige Zusammensetzung des Prozessgases

erreicht, dass hinreichende Bohrwandoberflächenqualitäten und Schmelzfilmdicken gewährleistet sind.

Desweiteren ist bevorzugt vorgesehen, dass das Prozessgas
5 unter Druck gesetzt ist, wobei der Druck bevorzugt unter
etwa 1,5 bar eingestellt ist. Hierdurch wird die Entstehung
von Ausbauchungen in den hergestellten Löchern begünstigt.
Es ist ebenfalls möglich, höhere Drücke zu wählen, wodurch
Ausbauchungen unterdrückt werden können. Allgemein ist
10 festzustellen, dass die erfindungsgemäß verwendeten Drücke
zu Ausbauchungen in der Nähe des Randbereiches des zu
bearbeitenden Werkstücks führen. Je höher der verwendete
Druck, desto tiefer verlagert sich eine Ausbauchung in das
Innere des Werkstücks.

15 Desweiteren kann bevorzugt vorgesehen sein, die
Beaufschlagungsrichtung des Prozessgases durch Verkipfung
relativ zur Richtung des Laserstrahles einzustellen. Der
Winkel der Verkipfung kann hierbei insbesondere zwischen 0°
20 und 15° liegen. Durch geeignete Wahl eines
Verkipfungswinkels wird gewährleistet, dass Lochformen,
insbesondere Ausbauchungen oder Aufweitungen, verschieden
stark asymmetrisch ausgebildet werden können.

25 Durch die bei der Durchführung des erfindungsgemäßen
Verfahrens gebildeten Plasmen können errechnete Drücke in
der Größenordnung einiger 100 bar und
Strömungsgeschwindigkeiten von mehreren 10 km/s in dem
beaufschlagten Bereich bzw. Loch entstehen. Dies hat
30 vorteilhafterweise zur Folge, dass unter anderem durch ein
beschleunigtes Ausbringen einer dadurch entstehenden
Schmelze zu einem höheren Materialabtrag aktiv beigetragen
wird.

Die Ionisation des Prozessgases kann, außer von den herrschenden Einbringungsbedingungen des Prozessgases (Zusammensetzung, Druck, Richtung), insbesondere auch durch Eigenschaften des Laserstrahls wie Wellenlänge und Leistung
5 beeinflusst sein.

Ein hierbei zum Einsatz kommendes Backing kann thermische bzw. optische Eigenschaften aufweisen, die die Form bzw. Ausgestaltung der Austrittsöffnung beeinflussen.
10 Insbesondere ist hierbei vorgesehen, geeignete metallische Werkstoffe, insbesondere Kupfer, vorzusehen. Diese Materialeigenschaften sind insbesondere für das Maß der Aufweitung der Austrittsöffnung von Bedeutung. So entstehen beispielsweise bei Laserwellenlängen von 1064 µm und einem
15 in geeignetem Abstand zur Austrittsöffnung angeordneten Backing aus Kupfer relativ große, hingegen bei einem Backing aus Stahl relativ kleine Aufweitungen. Desweiteren kann die Geometrie des Backings die Form bzw. Ausgestaltung der Austrittsöffnung beeinflussen. Erfindungsgemäß wird
20 insbesondere die Verwendung von Kupfer als Backingmaterial bevorzugt. Es sei darauf hingewiesen, dass Kupfer in der Regel im Bereich des Motorenbaus ungern verwendet wird, da es im Falle von Kupferablagerungen im Motorbereich aufgrund von Wechselwirkungen mit im verwendeten Kraftstoff
25 vorhandenen Schwefel zur Sulfidbildung kommen kann, wodurch die Langlebigkeit des Motors negativ beeinflusst wird. Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung ausnutzbaren Eigenschaften des Kupfers im Zusammenhang mit der Erzeugung von speziell ausgebildeten Löchern in Werkstücken
30 überwiegen diese Nachteile jedoch deutlich.

Desweiteren kann bevorzugt vorgesehen sein, das Backing in einem die Form der Austrittsöffnung beeinflussenden Abstand

zur Austrittsöffnung anzuordnen. Ein solcher Abstand wird bevorzugt zwischen 20 µm bis 200 µm gewählt.

Durch eine geeignete Wahl eines solchen Abstandes lässt
5 sich die Geometrie der Aufweitung des Bohrlochaustritts in einfacher Weise beeinflussen.

Das Backing kann durch Verkipfung relativ zur Austrittsöffnung unter einem vorgegebenen Winkel angeordnet
10 sein. Unterschiedlich stark gewählte Verkipnungen erzeugen hierbei unterschiedlich stark asymmetrische Aufweitungen der Austrittsöffnung des Bohrlochs. Hierbei bevorzugt zur Anwendung kommende Winkel bewegen sich zwischen 0° und 20°.

15 Insbesondere durch eine geeignete Wahl der Ausbildung des Backings bzw. der Anordnung des Backings relativ zur Austrittsöffnung können in einem Bereich der Austrittsöffnung eines Loches in einfacher Weise symmetrische bzw. asymmetrische Verrundungen eingebracht
20 werden, was zum Vorteil hat, dass ein nachträgliches HE-Runden gar nicht mehr oder nur in begrenztem Umfang erforderlich ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung, mit welcher insbesondere
25 das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist, zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen Laserstrahl, eine Haltevorrichtung für ein zu bearbeitendes Bauteil und Mittel zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre aufweist.

30 Als Mittel zur Einstellung der Prozessgasatmosphäre kann bevorzugt wenigstens eine Gasdüse vorgesehen sein. Hiermit ist strömendes Prozessgas geeigneter Zusammensetzung in einfach zu steuernder bzw. regelnder Weise unter geeignetem Druck sowie einem geeigneten Winkel auf den zu

beaufschlagenden Bereich eines Werkstücks richtbar. Eine geeignete Zusammensetzung des Prozessgases kann durch einen Gasmischer bereitgestellt werden.

- 5 Ergänzend kann hierzu erfindungsgemäß vorgesehen sein, die Vorrichtung so auszugestalten, dass an einer am Bauteil durch Einwirkung des Laserstrahls erzeugten Austrittsöffnung ein Backing positionierbar ist.

10

Zeichnung

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnung weiter erläutert. In dieser zeigt bzw. zeigen

15

Figur 1 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Laserbohrverfahrens,

- 20 Figur 2 ein Detail der Vorrichtung gemäß Figur 1 in vergrößerter Darstellung,

Figur 3a bis Figur 3e schematische Darstellungen von erfindungsgemäß hergestellten Bohrlöchern in seitlicher
25 Schnittansicht, und

Figuren 4a bis 4c schematische Darstellungen von erfindungsgemäß hergestellten Bohrlöchern in seitlicher Schnittansicht bzw. in Draufsicht auf der Grundlage
30 elektronenmikroskopischer Aufnahmen.

In Figur 1 ist die dargestellte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung insgesamt mit 100 bezeichnet. Ein durch einen Laser 31 erzeugter Laserstrahl 30

durchquert zunächst eine Aufweitungsoptik 32. Der Laserstrahl 30 wird an einem Shutter 34 teilweise reflektiert bzw. geschaltet, wobei hierbei gestreute bzw. überschüssige Reststrahlung durch einen Strahlsumpf 33 absorbiert wird. Die Richtung des Laserstrahls 30 wird innerhalb seines Strahlenganges durch einen oder mehrere Spiegel 37 umgelenkt. Innerhalb des Strahlenganges ist außerdem eine Trepanieroptik 35 angeordnet, außerdem weist die Vorrichtung zur Fokussierung des Laserstrahls eine Fokussierlinse 36 auf. Desweiteren tritt der Strahlengang des Laserstrahl 30 durch eine Gasdüse 12 hindurch und trifft auf ein zu bearbeitendes Werkstück 40.

Das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens benötigte Prozessgas wird durch einen Gasmischer 11 bereitgestellt und über eine Leitung 11a auf eine Gasdüse 12 gegeben. Das Prozessgas wird mit Hilfe der Gasdüse 12 unmittelbar auf das Werkstück 40 geblasen.

Das Werkstück 40 ist in einer Handhabung 50 befestigt. Diese Handhabung 50 kann durch geeignete Maßnahmen in alle drei Raumrichtungen x, y bzw. z bewegt werden, so dass eine für die Durchführung des Verfahrens geeignete Positionierung des Werkstückes 40 einstellbar ist. Durch Positionierung der Fokussierlinse 36 entlang der Achse z kann der Laserstrahl 30 in seiner Fokuslage variiert werden. Ebenso lässt sich die Gasdüse 12 relativ zu der Richtung des durch die Gasdüse 12 gehenden Strahlenganges des Laserstrahls 30 bzw. zum Werkstück 40 positionieren. Dabei erfolgt eine Bewegung entlang der Richtung x bzw. y. Auch eine Verdrehung der Gasdüse 12 ist mittels eines geeigneten Mechanismus realisierbar, wobei eine derartige Verschwenkbarkeit in Figur 1 mit ϕ symbolisiert ist.

Mit dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 ist das erfindungsgemäße Verfahren zum Laserbohren in einfacher Weise realisierbar. Innerhalb eines zu beaufschlagenden Bereiches trifft der Laserstrahl
5 30, nachdem sein Strahlengang die Gasdüse 12 durchquert hat, auf das Werkstück 40. Ein gewähltes bzw. eingestelltes Prozessgas strömt, mittels des Gasmischers 11 bereitgestellt, aus einer einstellbaren Richtung, unter Druck aus der Düse 12 auf den zu beaufschlagenden Bereich
10 des Werkstücks 40. Insbesondere wird hiermit die Ionisation von Prozessgas zu Plasma durch Wechselwirkung zwischen Prozessgas und Laserstrahl 30 innerhalb des Beaufschlagungsbereiches begünstigt.

15 In Figur 2 ist ein Detail aus Figur 1 dargestellt. Das Werkstück 40 ist über eine Halterung 51 relativ zur Handhabung 50 fest positionierbar, wobei eine geeignete Position des Werkstücks 40 relativ zur Handhabung 50 über die Halterung 51 durch Bewegung einstellbar ist. Ebenso ist
20 ein Backing 20 über eine Halterung 52 relativ zur Handhabung 50 fest positionierbar, wobei eine geeignete Position des Backings 20 relativ zur Handhabung 50 über die Halterung 52 durch Bewegung einstellbar ist. Durch Steuerung der Halterung 51 bzw. 52 lassen sich Backing 20
25 und Werkstück 40 in einer gewünschten Weise relativ zueinander räumlich positionieren, wobei dies vor aber auch während des beschriebenen Verfahrens realisiert werden kann.

30 Ein mittels des Laserbohrverfahrens in dem Werkstück 40 zu erzeugendes Loch 44 entsteht an der Stelle des Werkstückes 40, an der der Laserstrahl 30 auf dem Werkstück 40 auftrifft bzw. dieses beaufschlagt, wobei der Laserstrahl an einer Austrittsöffnung 43 des Loches 44 an der dem

Backing 20 zugewandeten Seite des Werkstücks 40 austritt. Das in einem geeigneten Winkel aus einem geeigneten Abstand aus einer nicht dargestellten Gasdüse auf das Werkstück 40 geblasene Prozessgas wird durch Wechselwirkung mit dem
5 Laserstrahl 30 im Bereich des Lochs 44 bzw. einem Bereich der Austrittsöffnung 43 durch Wechselwirkung zu Plasma ionisiert.

Hierdurch entstehen gezielt geometrische Ausgestaltungen im
10 Bereich des Loches 44 bzw. der Austrittsöffnung 43, wie nun anhand nachfolgender Figuren beispielhaft dargestellt wird.

Die Figuren 3a bis 3e zeigen detaillierte Ansichten von Löchern bzw. Bohrungen 44 innerhalb des Werkstückes 40 in
15 einer Schnittansicht parallel zu einer Bohrungsmittelachse 46 des Loches 44. Ein nicht dargestellter Laserstrahl 30 wurde dabei von links parallel zur Bohrlochmittelachse 46 auf das Werkstück 40 gerichtet, in dem Bereich seines Auftreffens durchbohrte der Laserstrahl 30 das Werkstück
20 40, wobei der Ort des Eintritts in den Figuren 3a bis 3e nicht dargestellt ist. Die jeweiligen Austrittsöffnungen 43 der Löcher 44 sind in den Figuren 3a bis 3e erkennbar.

In Figur 3a weist ein Bereich der Austrittsöffnung 43 des Bohrlochs 44 eine symmetrische Aufweitung 41 bzw.
25 Verrundung auf, welche durch vorzugsweise symmetrische Anordnung eines nicht dargestellten Backings bzgl. der Bohrungsmittelachse 46 innerhalb eines Bereiches hinter, in der Darstellung der Figuren 3a bis 3e rechts neben, der
30 Austrittsöffnung 43 verursacht wurde. Das Maß dieser Aufweitung 41 bzw. Verrundung ist durch geeignete Beabstandung des Backings relativ zur Austrittsöffnung 43 beeinflussbar.

In Figur 3b ist die Aufweitung 41 eines Bereiches der Austrittsöffnung 43 des Bohrloches 44 asymmetrisch ausgebildet bzw. nur einseitig verrundet. In diesem Beispiel wurde das erfindungsgemäße Verfahren so durchgeführt, dass das Backing unter Verkipfung unter einem geeigneten Winkel zur Bohrlochmittelachse 46 in einem Bereich hinter der Austrittsöffnung 43 angeordnet wurde.

Bohrloch 44 aus Figur 3c weist symmetrische bzw. beidseitige Ausbauchungen 42 in einem Bereich der Austrittsöffnung 43 des Loches 44 auf. Eine derartige Ausbauchung 42 ist beispielsweise durch die beschriebene Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und gebildetem Plasma realisierbar.

Das in Figur 3d dargestellte Bohrloch 44 weist eine asymmetrische Ausbauchung 42 auf. Eine derartige asymmetrische Ausbildung der Ausbauchung 42 wird durch Verkipfung einer das Prozessgas einleitenden Düse unter einem geeigneten Winkel relativ zur Bohrlochmittelachse 46 bzw. dem Laserstrahl begünstigt.

In Figur 3e ist das Bohrloch 44 derart ausgestaltet, dass es eine Kombination aus Aufweitung 41 sowie Ausbauchung 42 in einem Bereich der Austrittsöffnung 43 aufweist. Eine derartige Gestaltung ist durch Kombination der oben beschriebenen Maßnahmen (Verkipfung des Backings und Prozessgasbeaufschlagung unter einem Winkel) realisierbar.

In den Figuren 4a bis 4c sind weitere Ausgestaltungen von durch das erfindungsgemäße Verfahren innerhalb eines Werkstückes 40 erzeugten Löchern 44 bzw. erzeugten Austrittsöffnungen 43 im Längsschnitt bzw. in Draufsicht dargestellt.

Figur 4a zeigt zwei verschiedene Formen von Ausbauchungen 42 im Längsschnitt. Desweiteren sind durch Beaufschlagung des Werkstücks durch einen von links auftreffenden
5 Laserstrahl erzeugte Eintrittsöffnungen 45 dargestellt, die einen kleineren Durchmesser als die Austrittsöffnungen 43 rechts aufweisen. Im oben dargestellten Loch 44a ist die Ausbauchung 42 analog zur Figur 3d asymmetrisch, in dem unteren Loch 44b hingegen sind analog zur Figur 3c zwei
10 symmetrische Ausbauchungen 42 dargestellt.

Die in Figur 4b dargestellte Austrittsöffnung 43 weist eine asymmetrische Aufweitung 41 bzw. Verrundung auf. Diese wurde mit entsprechenden Maßnahmen, wie sie unter
15 Bezugnahme auf Figur 3b beschrieben wurden, realisiert. Aus derselben Perspektive wie Figur 4b zeigt Figur 4c eine Austrittsöffnung 43 mit symmetrischer Aufweitung 41 bzw. Verrundung, welche durch analoge Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wie es unter Bezugnahme auf
20 Figur 3a beschrieben wurde, realisiert.

5

Ansprüche

1. Verfahren zum Laserbohren, bei welchem ein Bereich
10 eines Werkstücks (40) mit einem Laserstrahl (30)
beaufschlagt wird, so dass in diesem Bereich ein Loch (44)
erzeugt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verfahren unter einer einstellbaren
15 Prozessgasatmosphäre derart durchgeführt wird, dass
aufgrund einer Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und
Prozessgas in dem vom Laserstrahl (30) beaufschlagten
Bereich bzw. Loch (44) Plasma gebildet wird,
und dass an einer durch den Laserstrahl (40) erzeugten
20 Austrittsöffnung (43) des Loches (44) ein Backing (20)
angeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass als Prozessgas ein inertes Gas, insbesondere
25 Stickstoff, insbesondere unter Zusatz von Edelgasen wie
Helium, Argon und dergleichen verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, dass das Prozessgas unter Druck gesetzt
30 wird, wobei das Prozessgas insbesondere unter einen Druck
von maximal 1,5 bar gesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch
gekennzeichnet, dass die Beaufschlagungsrichtung des

Prozessgases durch Verkipfung relativ zur Richtung des Laserstrahls (30) eingestellt wird, wobei der Winkel der Verkipfung insbesondere bis zu 15° beträgt.

5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein für das Backing (20) verwendetes Material mit die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden thermischen und/oder optischen
10 Eigenschaften (4), insbesondere ein metallischer Werkstoff, insbesondere ein kupferenthaltender Werkstoff, ausgewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Backing (20) in einem die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden Abstand zur Austrittsöffnung (43) und/oder dem Werkstück (40) angeordnet ist, wobei der Abstand bevorzugt zwischen 20 µm bis 200 µm beträgt.

20

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Backing (20) durch Verkipfung unter einem bestimmten, die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden Winkel zur Austrittsöffnung und/oder dem
25 Werkstück (40) angeordnet ist, wobei der Winkel der Verkipfung insbesondere bis zu 20° beträgt.

8. Vorrichtung zum Laserbohren, mit welcher ein Bereich eines Werkstücks (40) mit einem Laserstrahl (30) zur
30 Erzeugung eines Loches (44) beaufschlagbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel (11,12) zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre in dem vom Laserstrahl (30) beaufschlagten Bereich und/oder Loch (44) derart, dass es aufgrund einer Wechselwirkung zwischen

Laserstrahl (44) und Prozessgas zu einer Bildung von Plasma in dem von dem Laserstrahl beaufschlagten Bereich bzw. Loch (44) kommt, und ein an einer Austrittsöffnung (43) eines erzeugten Loches (44) positionierbares Backing (20) aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (11,12) zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre wenigstens eine Gasdüse (12) aufweisen.

15

20

1/3

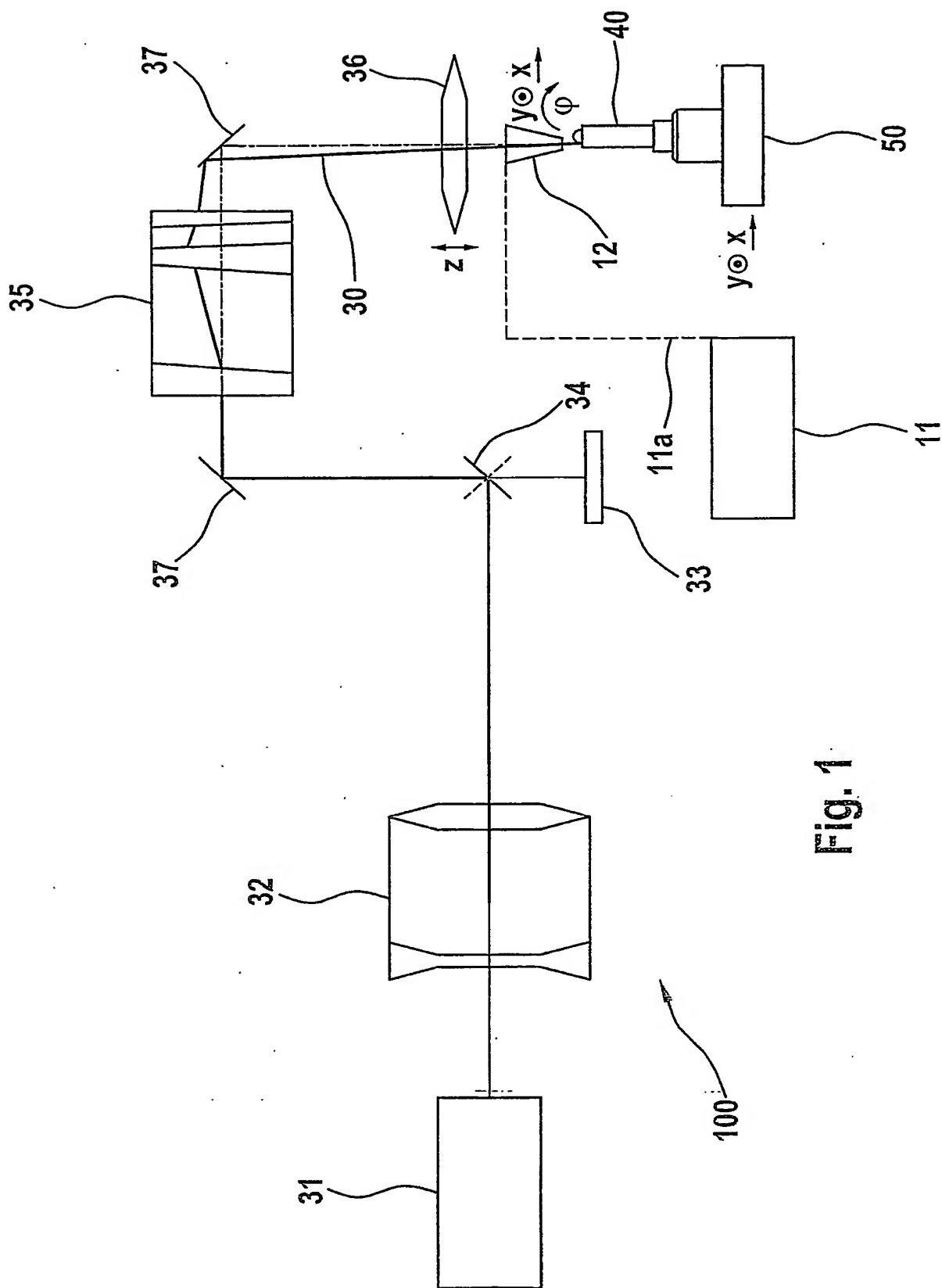


Fig. 1

2/3

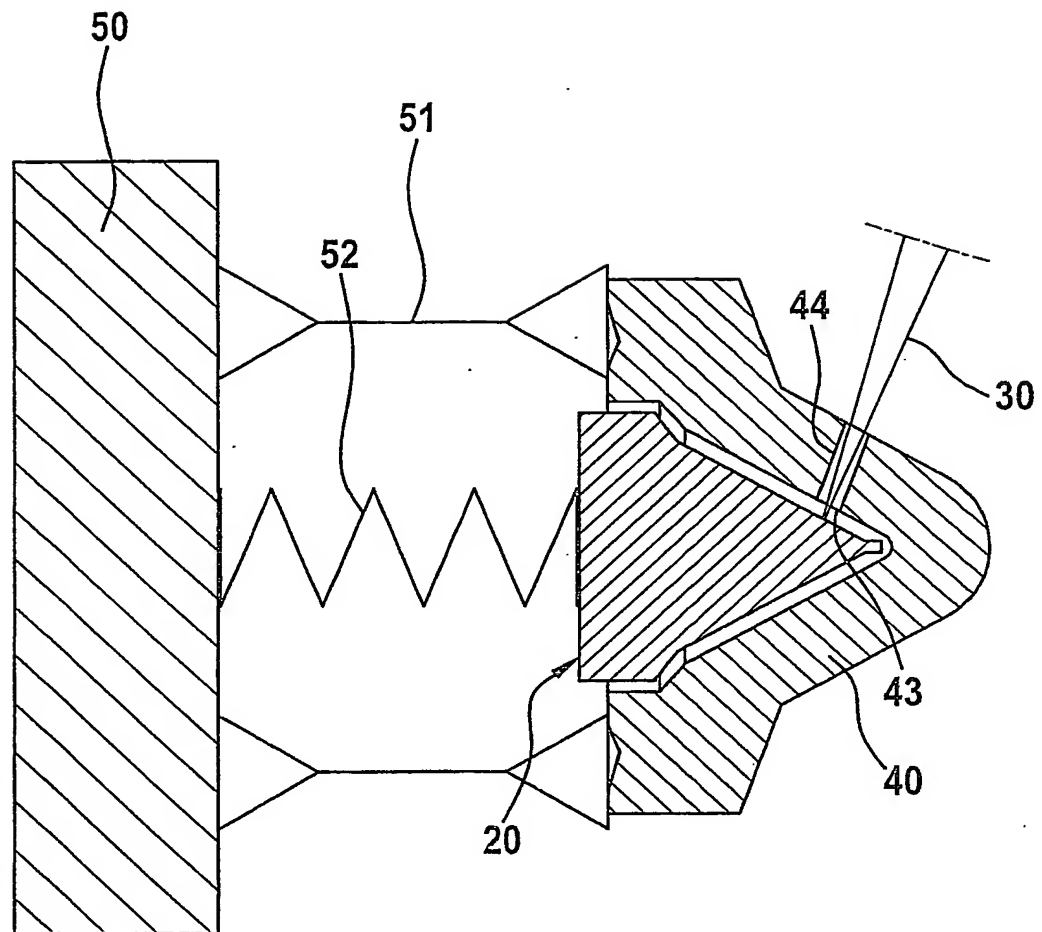


Fig. 2

3/3

Fig. 3a

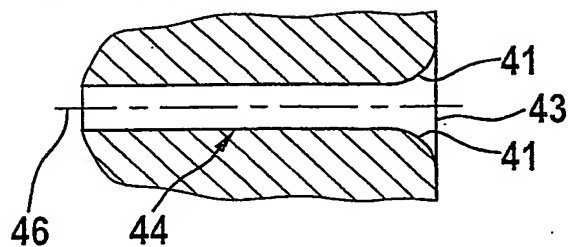


Fig. 3b

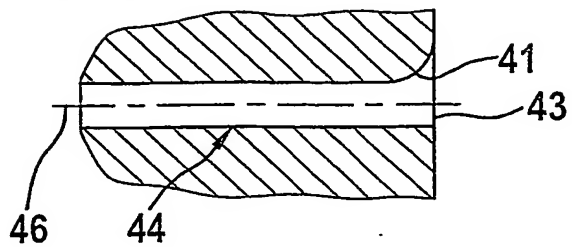


Fig. 3c

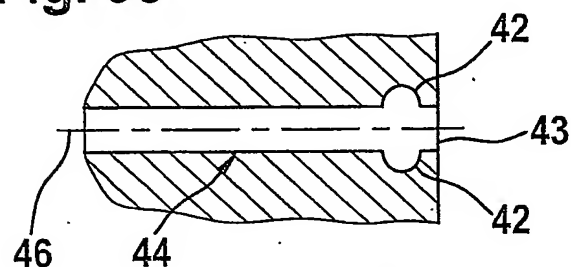


Fig. 3d

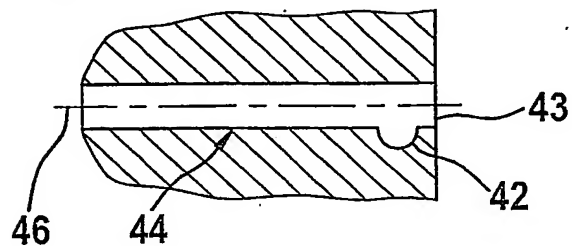


Fig. 3e

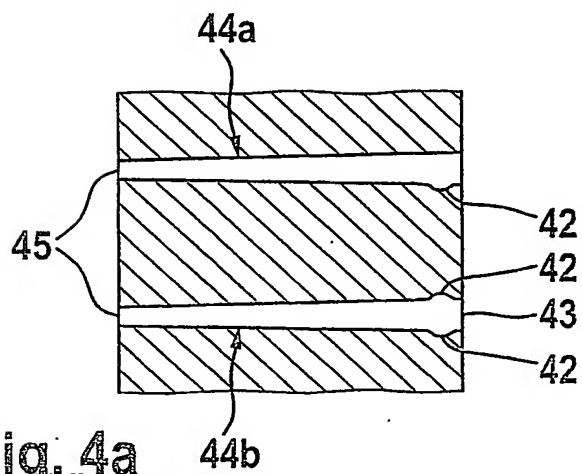
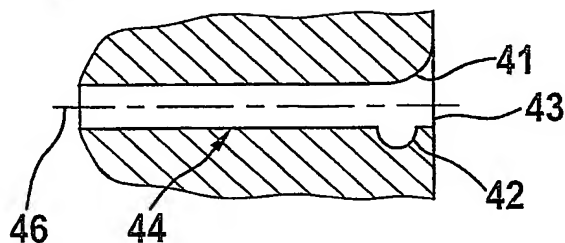


Fig. 4a

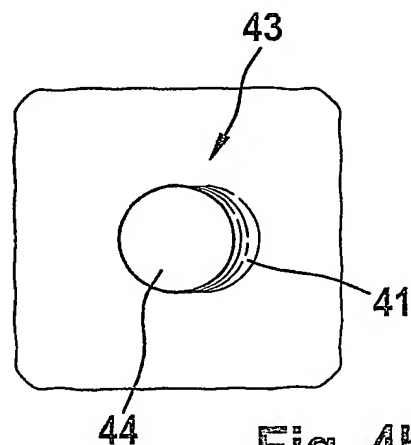
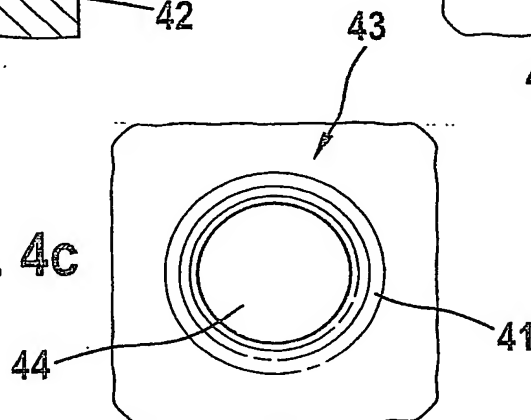


Fig. 4b

Fig. 4c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

DE 03/03801

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 B23K26/38 B23K26/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 B23K F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 744 780 A (J.J. CHANG ET AL) 28 April 1998 (1998-04-28)	8-9
A	column 3, line 13 - column 4, line 65 column 5, line 32 - column 6, line 39; figure	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 06, 4 June 2002 (2002-06-04) & JP 2002 050849 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 15 February 2002 (2002-02-15)	8-9
A	abstract	1
X	DE 199 08 630 A (BOSCH GMBH ROBERT) 31 August 2000 (2000-08-31)	8
A	column 3, lines 8-34; figure	1,9
	----- -/-- -----	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 March 2004

Date of mailing of the international search report

19/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

DE 03/03801

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 070 813 A (B. DURHEIM) 6 June 2000 (2000-06-06) column 1, line 47 - column 2, line 2 column 3, lines 55-61 column 6, lines 41-63; figures 1a, 3a-3e	1-3, 5, 6, 8, 9
Y	SUN J ET AL: "INERT GAS BEAM DELIVERY FOR ULTRAFAST LASER MICROMACHINING AT AMBIENT PRESSURE" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 89, no. 12, 15 June 2001 (2001-06-15), pages 8219-8224, XP001066091 ISSN: 0021-8979 the whole document	1-3, 5, 6, 8, 9
A	GB 1 585 609 A (LASAG G) 11 March 1981 (1981-03-11) page 1, line 8 - page 2, line 109; claim 1; figure 1	1-3, 8, 9
A	EP 0 299 143 A (RAYCON TEXTRON INC) 18 January 1989 (1989-01-18) the whole document	1, 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/03801

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5744780	A	28-04-1998	US 6057525 A	02-05-2000
JP 2002050849	A	15-02-2002	NONE	
DE 19908630	A	31-08-2000	DE 19908630 A1	31-08-2000
			WO 0051778 A1	08-09-2000
			EP 1159104 A1	05-12-2001
US 6070813	A	06-06-2000	WO 0009884 A1	24-02-2000
GB 1585609	A	11-03-1981	CH 611192 A5	31-05-1979
			CH 605010 A5	29-09-1978
			DE 2740755 A1	13-04-1978
			FR 2366910 A1	05-05-1978
			US 4220842 A	02-09-1980
EP 0299143	A	18-01-1989	CA 1310073 C	10-11-1992
			EP 0299143 A1	18-01-1989
			JP 2623296 B2	25-06-1997
			JP 63312027 A	20-12-1988
			US 4857696 A	15-08-1989

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

DE 03/03801

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B23K26/38 B23K26/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B23K F02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 5 744 780 A (J.J. CHANG ET AL) 28. April 1998 (1998-04-28) Spalte 3, Zeile 13 - Spalte 4, Zeile 65 Spalte 5, Zeile 32 - Spalte 6, Zeile 39; Abbildung	8-9 1
X A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2002, Nr. 06, 4. Juni 2002 (2002-06-04) & JP 2002 050849 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 15. Februar 2002 (2002-02-15) Zusammenfassung	8-9 1
X A	DE 199 08 630 A (BOSCH GMBH ROBERT) 31. August 2000 (2000-08-31) Spalte 3, Zeilen 8-34; Abbildung	8 1,9
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

10. März 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/03/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 070 813 A (B. DURHEIM) 6. Juni 2000 (2000-06-06) Spalte 1, Zeile 47 - Spalte 2, Zeile 2 Spalte 3, Zeilen 55-61 Spalte 6, Zeilen 41-63; Abbildungen 1a, 3a-3e	1-3, 5, 6, 8, 9
Y	SUN J ET AL: "INERT GAS BEAM DELIVERY FOR ULTRAFAST LASER MICROMACHINING AT AMBIENT PRESSURE" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 89, Nr. 12, 15. Juni 2001 (2001-06-15), Seiten 8219-8224, XP001066091 ISSN: 0021-8979 das ganze Dokument	1-3, 5, 6, 8, 9
A	GB 1 585 609 A (LASAG G) 11. März 1981 (1981-03-11) Seite 1, Zeile 8 - Seite 2, Zeile 109; Anspruch 1; Abbildung 1	1-3, 8, 9
A	EP 0 299 143 A (RAYCON TEXTRON INC) 18. Januar 1989 (1989-01-18) das ganze Dokument	1, 8

Angaben zu Veröffentlichung zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

DE 03/03801

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5744780	A	28-04-1998	US 6057525 A	02-05-2000
JP 2002050849	A	15-02-2002	KEINE	
DE 19908630	A	31-08-2000	DE 19908630 A1	31-08-2000
			WO 0051778 A1	08-09-2000
			EP 1159104 A1	05-12-2001
US 6070813	A	06-06-2000	WO 0009884 A1	24-02-2000
GB 1585609	A	11-03-1981	CH 611192 A5	31-05-1979
			CH 605010 A5	29-09-1978
			DE 2740755 A1	13-04-1978
			FR 2366910 A1	05-05-1978
			US 4220842 A	02-09-1980
EP 0299143	A	18-01-1989	CA 1310073 C	10-11-1992
			EP 0299143 A1	18-01-1989
			JP 2623296 B2	25-06-1997
			JP 63312027 A	20-12-1988
			US 4857696 A	15-08-1989